

В. В. Ушакова, А. А. Коренев, А. Г. Илларионов, С. В. Гриб*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *С. В. Гриб*

**s.v.grib@urfu.ru*

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ НАГРЕВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СПЛАВА VST3553

Исследована стабильность β -твердого раствора сплава VST3553, дополнительно легированного оловом и цирконием при его непрерывном нагреве методом терморентгенографии. Приведены данные по изменению периодов кристаллических решеток фаз в зависимости от температуры нагрева сплава, а также данные термогравиметрии.

Ключевые слова: терморентгенография, титановый сплав, непрерывный нагрев, термогравиметрия.

V. V. Ushakova, A. A. Korenev, A. G. Illarionov, S. V. Grib

PHASE TRANSFORMATIONS OF THE MODIFIED ALLOY VST3553 UNDER HEATING

The stability of the β -solid solution of the VST3553 alloy additionally doped with tin and zirconium was studied with its continuous heating in the temperature range of 30...850 °C by non-ambient XRD. The data about periods of the crystal lattices of the phases depending on the heating temperature are presented as well as the data of thermogravimetry.

Keywords: non-ambient XRD, titanium alloy, continuous heating, thermogravimetry.

Известно [1], что одним из методов получения высокопрочного состояния в сплавах титана на основе β -фазы применяют упрочняющую термическую обработку (УТО), которая заключается в закалке на β -твердый раствор с последующим нагревом (старением), в ходе которого протекает $\beta \rightarrow (\beta + \alpha)$ -превращение. Следует отметить, что устойчивость β -твердого раствора к распаду с образованием α -фазы оказывает существенное влияние на значения механических свойств сплавов титана после УТО. В связи с чем, возникла необходимость в исследовании устойчивости β -фазы к распаду при непрерывном нагреве разработанного в ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» сплаве титана VST3553 дополнительно легированного цирконием и оловом (алюминиевый

эквивалент составил 4,7 %). Модифицированный сплав VST3553 был подвергнут обработке на β -твердый раствор, которая заключалась в нагреве до 810 °C/с выдержкой 1 час с последующим охлаждением на воздухе. Основными методами исследования служили терморентгенография и термогравиметрия.

Запись терморентгенограмм осуществлялась на приборе Bruker D8 advance в фильтрованном медном K_{α} -излучении, напряжение $U = 40$ кВ, сила тока $I = 40$ μ А с применением высокотемпературной камеры AntonPaar НТК 1200N в вакууме ($10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па). Диапазон исследуемых температур 30...850 °C. Интервал углов Вульфа-Брегга $2\Theta = 30 \dots 90^{\circ}$.

Запись кривой термогравиметрии исследуемого сплава с ($\beta + \alpha$)-структурой осуществлялась на приборе STA 449 C Jupiter со скоростью нагрева 20 °/мин, в защитной атмосфере аргона.

Данные терморентгенографии показали, что в температурном интервале 30...375 °C сплав находится в однофазном β -состоянии, фазовых превращений не происходит. Период решетки β -фазы несколько возрастает от 0,3251 до 0,3261 нм, что, возможно, обусловлено термическим расширением (рис. 1). В температурном интервале 375...500 °C происходит интенсивный распад β -фазы с образованием α -фазы, в связи с чем, период решетки β -фазы уменьшается с 0,3261 до 0,3240 нм, что является

закономерным: в ходе $\beta \rightarrow (\beta + \alpha)$ -превращения, β -твердый раствор обедняется по α -стабилизатору алюминию и обогащается по β -стабилизаторам – ванадию, молибдену и хрому, а т. к. атомный радиус β -стабилизаторов меньше, чем у атома титана ($R_{Ti} = 0,145$ нм, $R_{Mo} = 0,140$ нм, $R_V = 0,143$ нм, $R_{Cr} = 0,128$ нм [2]), то это способствует сжатию кристаллической решетки β -фазы и уменьшению периода ее решетки.

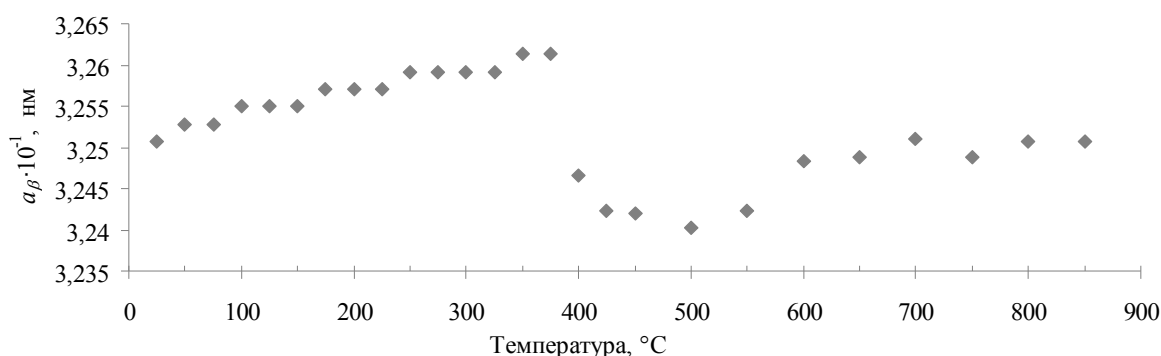


Рис. 1. Изменение периода решетки β -фазы в зависимости от температуры нагрева

Дальнейшее повышение температуры до 700 °C способствует повышению периода решетки β -фазы до 0,3251 нм, что, по-видимому,

обусловлено протеканием обратного превращения, связанного с растворением α -фазы в β -матрице. Дальнейшее повышение температуры до 850 °С не оказывает существенного влияния на период решетки β -фазы.

Периоды решетки α -фазы увеличиваются во всем температурном интервале ее существования – 400...850 °С: a_α – 0,4664...0,4787 нм; c_α – 0,2928...0,2975 нм (рис. 2). Это может быть связано как с термическим расширением решетки, так и с влиянием кислорода при более высоких температурах: кислород внедряясь в октаэдрические поры решетки α -фазы способствует увеличению ее периодов.

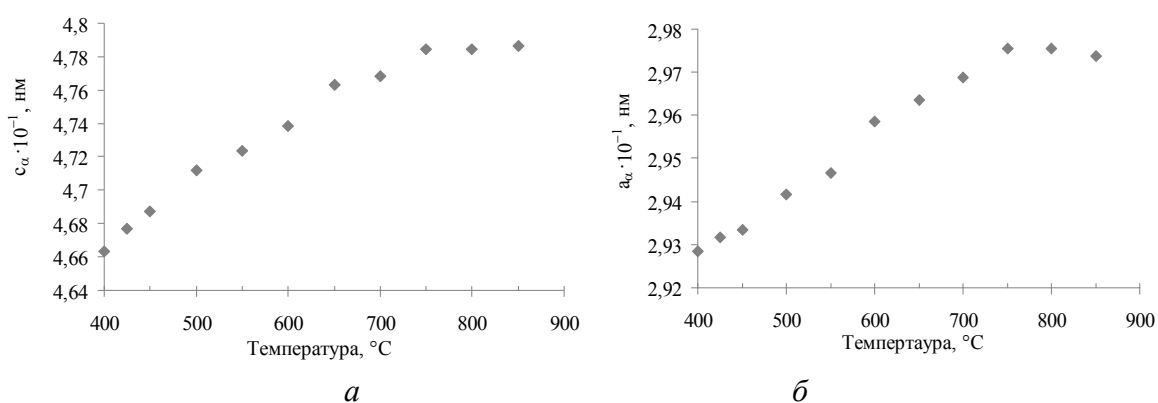


Рис. 2. Изменение периода решетки α -фазы (a_α , c_α – а, б, соответственно) в зависимости от температуры нагрева

Следует отметить, что согласно исследованиям [3], температура перехода в однофазное β -состояние модифицированного сплава VST3553 составляет порядка 800 °С. По нашему мнению, сохранение двухфазного (β + α)-состояния при нагреве вплоть до 850 °С способствует активное взаимодействие исследуемого сплава с кислородом (кислород стабилизирует α -фазу [4]). Исходя из данных термогравиметрии (рис. 3, кривая 2) видно, что прирост массы образца в интервале температур 640...1000 °С составил порядка 0,3 %.

Кроме того, взаимодействие исследуемого сплава с кислородом делает затруднительным определение температуры полиморфного превращения по кривой ДСК (дифференциальная сканирующая калориметрия) – рис. 3, кривая 1. Отчетливо выделяются лишь два эндозффекта в интервале температур 510...790 и 790...850 °С, обусловленные растворением частиц α -фазы в β -матрице – вторичных при более низких и первичных при более высоких температурах.

Таким образом, согласно данным терморентгенографии, установлено, что β -твердый раствор модифицированного сплава VST3553 в условиях непрерывного нагрева теряет стабильность к $\beta \rightarrow (\beta + \alpha)$ -превращению при температуре выше 375 °С, а процесс распада завершается к 500 °С. При температурах выше 640 °С (по данным

термогравиметрии) кислород, как α -стабилизатор, препятствует обратному $(\beta+\alpha) \rightarrow \beta$ -превращению, что способствует сохранению $(\beta+\alpha)$ -структуры при температурах нагрева 800...850 °С, превышающих температуру полиморфного превращения сплава.

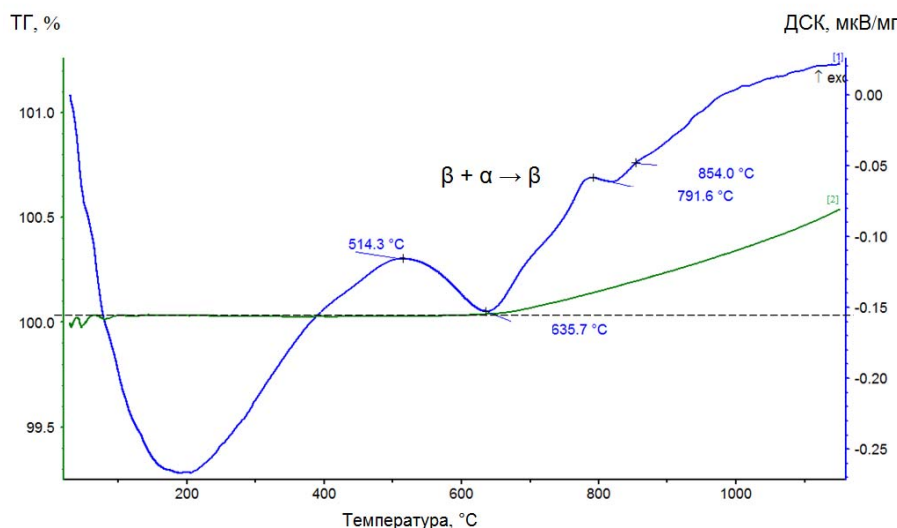


Рис. 3. Кривые ДСК (1) и термогравиметрии (2) модифицированного сплава VST3553 с $(\beta+\alpha)$ -структурой

В работе использованы результаты, полученные в лаборатории «Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов» Центра коллективного пользования УрФУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. Москва : Металлургия, 1981. 413 с.
2. Металловедение и термообработка сплавов титанов. Структура и свойства / А. А. Попов [и др.]. Екатеринбург : УрФУ, 2012. 268 с.
3. Определение температуры полиморфного превращения модифицированного сплава VST3553 / В. В. Ушакова [и др.] // XVII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов – молодых ученых: сб. в 2 ч. Ч. 1. Екатеринбург : УрФУ, 2016. С. 1202–1204.
4. Седова Д. А. Фазовые превращения при нагреве сплава эвтектоидного состава системы Ti-Cr / Д. А. Седова, И. А. Илларионов, С. В. Гриб // XVII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов – молодых ученых: сб. в 2 ч. Ч. 1. Екатеринбург : УрФУ, 2016. С. 194–198.